

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Ohřívací komora laboratorní pece
Heating Chamber of Laboratory Furnace

Student:
Vedoucí práce:

Martin Luzar
Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Luzar**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: Ohřívací komora laboratorní pece
Heating Chamber of Laboratory Furnace

Zásady pro vypracování:

Navrhněte ohřívací komoru laboratorní plazmové pece s horizontálním krystalizátorem. Pozornost věnujte zejména propojení komory hořákové s komorou ohřívací a návrhu izolace ohřívací komory.

Proved'te :

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci ohřívací komory pece.

Rozsah výtahu z Bakalářského projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 1A0

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. Konstrukční nauka.

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8

NOGA, Z.- PUSTKA, M.: Plazmová pec s horizontálním krystalizátorem
PV 2011-743

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.

FS_SME_05_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Bakalářského projektu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

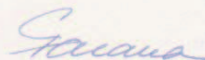
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 9. 5. 2012

.....*Luzný*.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB- TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk budu uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 9. 5. 2012

.....*M. Luzar*.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Luzar

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bezručova 3

Opava 5- Malé Hoštice

Česká Republika

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LUZAR, M. Ohřívací komora laboratorní pece: bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 44 s. Vedoucí práce: Noga, Z.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem ohřívací komory laboratorní pece. Úvod práce obsahuje technickou zprávu složenou z požadavků na zařízení, funkční struktury, morfologické matice, orgánové struktury a hrubé stavební struktury. Výpočtová část se zabývá hlavně návrhem tepelné izolace a vodního chlazení. Je uveden technický popis zařízení a navrženo konstrukční řešení, které je dokumentováno v příloze bakalářské práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

LUZAR, M. Heating Chamber of Laboratory Furnace: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing and Construction Machinery, 2012, 44 p. Thesis head: Noga, Z.

This thesis deals with the engineering design of the heating chamber of a laboratory furnace. The introduction of the thesis contains a technical report specifying equipment requirements, functional structure, morphological matrix, organ structure and gross building structure. The calculation part deals mainly with the design of thermal insulation and water cooling. Also documented in the thesis are the technical description of the device, and the construction solution which is in the annex.

Obsah

Slovník pojmů k hledání informací v anglické literatuře	9
Seznam jednotek	10
1. Úvod	13
2. Výtah z bakalářského projektu	13
2.1. Titan	13
2.2. Tepelná zpracování titanu a jeho slitin	14
2.3. Argon	14
3. Seznam požadavků	14
4. Funkční struktura	17
5. Morfologická matice	18
6. Orgánová struktura	19
6.1. Porovnání variant	19
6.2. Orgánová struktura- Hlavní pohled	19
6.3. Orgánová struktura- Levý bokorys	20
6.4. Orgánová struktura- Pravý bokorys	21
7. Hrubá stavební struktura	21
8. Výpočty	22
8.1. Návrh izolace bez chlazení	23
8.2. Návrh izolace s vodním chlazením	26
8.2.1. Výpočet chlazení víka	29
8.3. Výpočet hmotnosti komory	31

9.	Výrobci	32
10.	Technický popis zařízení	35
11.	Závěr	42
12.	Literatura.....	43
13.	Seznam výkresové dokumentace	44

Slovník pojmů k hledání informací v anglické literatuře

<u>Česky</u>	<u>Anglicky</u>
Plazmový hořák	plasma torch
Netečný plyn	inert gas
Wolfram	tungsten
Pec	furnace
Ochranná atmosféra	protectiveatmosphere
Tepelná izolace	heatinsulation
Kalení	hardening
Žíhání	annealing
Slitina	alloy
Topné těleso	heating element
Tepelná izolace	thermal insulation

Seznam jednotek

<u>Název</u>	<u>značka</u>	<u>jednotka</u>
Tepelná vodivost	a	m^2/s
Výška chladicího kanálku	a	m
Šířka chladicího kanálku	b	m
Průměr	d	mm, m
Koeficient prostupu tepla stěnou	k	W/mK
Délka	l	mm, m
Obvod chladicího potrubí	o	m
Teplota	t	$^{\circ}\text{C}$
Rychlost proudění vody	w	m/s
Tloušťka stěny	x	m
Konstanta	C	-
Charakteristický rozměr tělesa	D	m
Tepelný tok	Q	W
Průřez potrubí	S	m^2
Teplota	T	K
Součinitel přestupu tepla	α	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Součinitel teplotní objemové roztažnosti	β	-
Součinitel tepelné vodivosti	λ	W/mK
Kinematická viskozita	ν	m^2/s
Hustota	ρ	kg/m^3

Teplotní součinitel	χ	-
Měrná tepelná kapacita za stálého tlaku	c_p	J/kgK
Hydraulický průměr	d_h	m
Hmotnostní průtok	\dot{m}	kg/s
Hmotnost slitku	m_s	kg
Hmotnost komory	m_k	kg
Hmotnost vody	m_v	kg
Celková hmotnost komory	m_c	kg
Délka pláště	l_p	mm,m
Hustota tepelného toku	q	W/m ²
Hustota tepelného toku v držáku	q_D	W/m ²
Hustota tepelného toku na 1 m délky	q_l	W/m
Maximální teplota stěny	$t_{\max 1}$	°C
Maximální teplota vody	$t_{\max 2}$	°C
Teplota stěny	t_s	°C
Výpočtová teplota	t_v	°C
Teplota vstupní	t_{vst}	°C
Teplota výstupní	$t_{výs}$	°C
Grashofovo číslo	Gr	-
Nusseltovo číslo	Nu	-
Prandlovo číslo	Pr	-
Celkový tepelný tok	Q_c	W

Tepelný tok v držáku	Q_D	W
Reynoldsovo číslo	Re	-
Plocha boční stěny	S_B	m^2
Průřez držáku	S_D	m^2
Průřez kanálku	S_k	m^2
Objem vody v plášti	V_p	m^3
Objem vody víka	V_v	m^3
Celkový objem vody	V_{celk}	m^3

1. Úvod

Ohřívací komora je součástí plazmové pece, tedy pro tavbu za vysokých teplot. Navazuje na hořákovou sekci, ve které se vytaví titanový slitek, který je následně vyklopen do ohřívací komory. Ta má zajistit ohřev slitku pro další tepelné zpracování a to převážně žihání. V komoře jsou vysoké teploty, takže se musí izolovat, aby plášť komory nebyl horký a to pomocí žáruvzdorné izolace a popřípadě i vodního chlazení. Je požadováno, aby topná tělesa byla vyjímatelná pro případnou údržbu. Dále je třeba zajistit měření teploty uvnitř ohřívací komory. Do komory musí být přiváděna ochranná atmosféra.

2. Výtah z bakalářského projektu

2.1. Titan

Titan má chemickou značku Ti. Dal by se charakterizovat jako lehký, pevný, korozivzdorný, odolný a zdravotně nezávadný stříbřitě bílý kov. Jako čistý kov je velice drahý, vzhledem na náklady při jeho výrobě, a proto se používá při výrobě slitin s jinými kovy a to zejména s hliníkem a vanadem [4].

Titan je velmi pevný, tvrdý a přitom lehký. Je o 30 % pevnější a o 45 % lehčí než ocel. Jeho hustota je 4506 kg/m^3 a střední pevnost 400 MPa. Pevnost je ovlivněna čistotou. Je dodáván s odstupňovaným obsahem kyslíku, dusíku, uhlíku a železa a mezí kluzu od 170 do 490 MPa a pevností od 250 do 600 MPa. Má modul pružnosti 110 GPa. Nepříznivý vliv na vlastnosti titanu má vodík, který zhoršuje jeho vrubovou houževnatost. Velká přednost je odolnost proti korozi. Má malou tepelnou vodivost $5,233 \cdot 10^{-3} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ [5].

K výrobě titanu se používá Krollův proces. Princip spočívá v působení chloru a uhlíku na rudu obsahující titan. Tím se získává chlorid titaničitý, který se po přečištění redukuje hořčíkem v inertní argonové atmosféře na kov. Po odstranění hořčíku se zpracovává na titanové odlitky. Tento proces je velice drahý, a proto jsou titanové komponenty použity, když nelze použít levnějších slitin [4].

Výroba titanových slitin je prováděna ve vakuových indukčních pecích. Teplota tavení titanu je $1668 \text{ }^\circ\text{C}$. Mimo slitin s hliníkem a vanadem se používá také molybden, chrom, uhlík a mangan, které zvyšují pevnost slitiny.

2.2. Tepelná zpracování titanu a jeho slitin

Žihání:

- Ke snížení vnitřního pnutí: 560 až 600 °C
- Rekrystalizační: 750 až 850 °C
- Stabilizační žihání: 850 až 950 °C

Kalení: 850 až 880 °C

Nitridování: 850 až 950 °C [6]

2.3. Argon

Chemická značka Ar. Velmi dobře vede elektrický proud. Hojně se vyskytuje v zemské atmosféře a získává se frakční destilací zkapalněného vzduchu. Používá se při svařování, jako ochranná atmosféra proti oxidaci svaru. V metalurgii se argonová ochranná atmosféra používá při tavení slitin hliníku, titanu, mědi, platinových kovů a dalších. Dále také při výrobě polovodičových součástek, ve výbojkách, elektrických obloucích a doutnavých trubicích, kde podle koncentrace dokáže vytvořit červenou, fialovou, modrou a bílou barvu [7].

3. Seznam požadavků

Ohřívací komora:

- Poloha: připojena přírubou k plazmové peci. Vodorovně s podlahou pomocí rychlo upínek nebo pantů
- Rozměry příruby pece, na kterou se komora napojí: vnitřní $\varnothing = 146$ mm, vnější $\varnothing = 230$ mm, rozteč šroubů na $\varnothing = 199$ mm, (6 šroubů) [10]
- Rozměry komory: vnitřní průměr musí být větší než 146 mm, aby se mohl krystalizátor uvnitř otáčet. Délka krystalizátoru je 700 mm, takže délka komory musí být větší, min. 750 mm.
- Ohřev: pomocí 6- ti elektrických topných tyčí
- Teplota ohřevu: bude vyšší, než je požadovaná teplota pro žihání, asi 1100 °C
- Izolace: vakuově tvarovaná keramická izolace

- Průzor do komory: ne
- Měření teploty: snímání teplotním čidlem
- Chlazení vodou: ano
- Přívod ochranné atmosféry: Argon
- Vstupy do komory: přívod ochranné atmosféry, odsávání kyslíku a tepelná sonda budou umístěny na zadní stěně komory

Slitek:

- Materiál: titanové slitiny
- Rozměry: šířka-30 mm, výška- 10 mm, délka- 400 mm
- Hmotnost: asi 0,5 kg
- Žíhací teplota: kolem 560 - 950 °C
- Doba žíhání: až 12 hodin
- Ustavení: pokud možno uprostřed komory

Topné elementy:

- Rozměry: $\varnothing = 10$ mm, délka asi 630 mm
- Počet: 6
- Rozmístění: na délku po obvodě komory zapuštěny do izolace
- Tvar drážky v izolaci: kruhová pro lepší odraz tepla
- Uchycení v komoře: pomocí keramických úchytů připevněných na bočních stěnách komory

Ustavovací podložky:

- Materiál: keramika
- Tvar: podložky by měly být do tvaru V, aby slitek sklouznul doprostřed, a měly by mít co nejmenší dotykovou plochu se slítkem
- Ustavení: zapuštění do izolace
- Vyklápění slitku: může se vyklápět nalevo i napravo

Izolace:

- Rozměry: nesmí být moc tenká, aby nevznikaly velké ztráty vlivem chlazení, a zároveň nesmí být moc hrubá, aby nebyla předimenzovaná

Chlazení:

- Médium: voda
- Místo chlazení: plášť komory po obvodu a především boční stěny, kde bude docházet k většímu prostupu tepla
- Využití média: médium proteče a je odváděno do kanálu

Těsnění:

- Těsnění přírub: keramická páska

Provoz:

- Prostředí: laboratoř
- Četnost použití: asi jednou až dvakrát měsíčně
- Požadovaná životnost: asi 20 let
- Údržba: jednoduchá, dle potřeby odstranit nečistoty z pece
- Způsob měření teploty: teplotním čidlem
- Podlaha v dílně: betonová

Ergonomie:

- Bezpečnost proti poranění: maximální teplota na povrchu komory je 70 °C

Manipulace:

- Přemisťování: ne
- Otevírání pece: maximálně dvakrát denně, komora bude upevněna na pantech [10]
- Rozebiratelnost: komora se bude skládat ze tří částí, které se budou moci odšroubovat. Izolace bude tvarově uspořádána tak, aby se při otevření komory dala snadno vytáhnout, stejně tak i topné tyče.

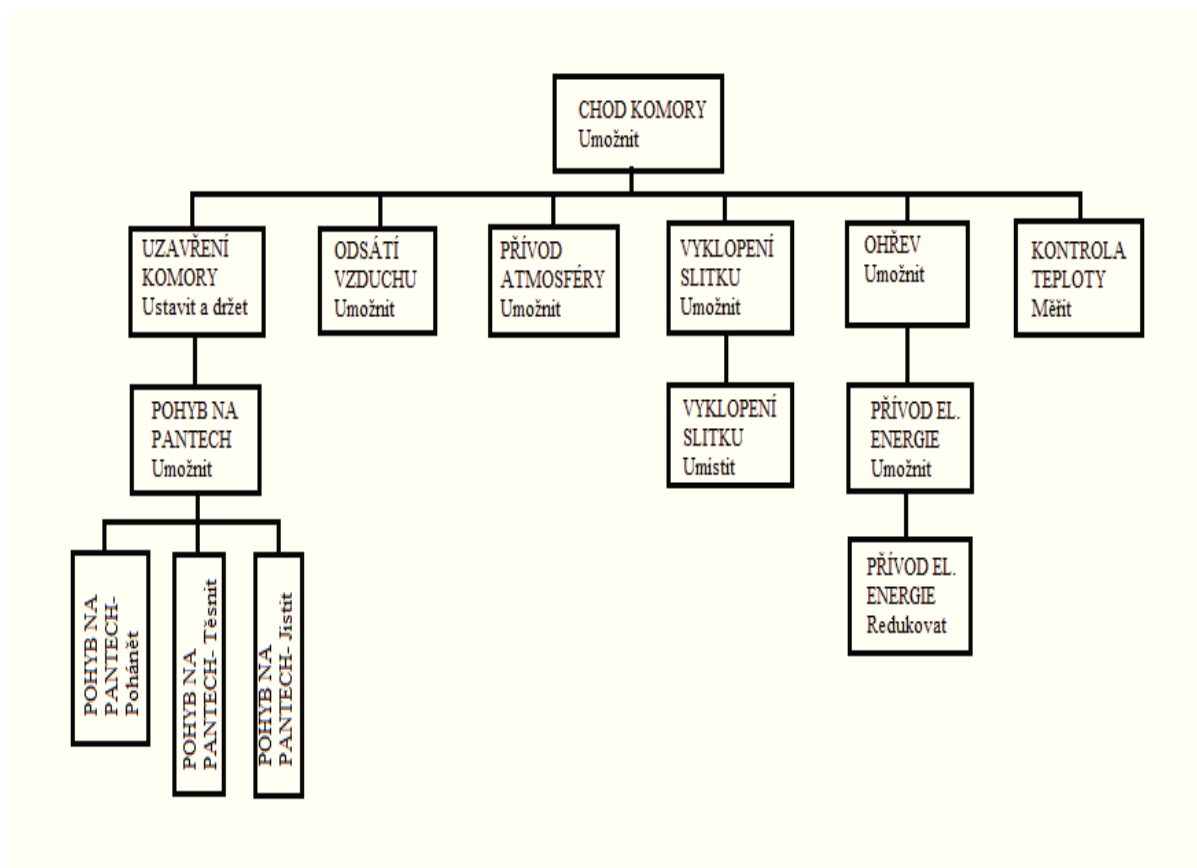
Výroba:

- Jeden kus

Ekonomie:

- Náklady na provoz: malé

4. Funkční struktura



Obr. 1 Funkční struktura

5. Morfologická matice

Tab. 1 Morfologická matice

Funkce		Orgány- nositelé funkcí			
Č.		1	2	3	4
1.	Uzavírání komory	Rychloupínání	Šrouby		
2.	Odsátí vzduchu	Vývěva- hadice	Vývěva- trubka		
3.	Přívod ochranné atmosféry	Kompresor	Plynová lahev		
4.	Těsnění	Keramická páska	Silikonové těsnění		
5.	Tvar podložky	V podložka- symetrická	V podložka- jen na jednu stranu		
6.	Umístění slitku	V podložka- keramická	V podložka- ocel, chlazená vodou	V podložka- jiný žáruvzdorný materiál	
7.	Ohřev	Topný elektrický element	Indukční ohřev	Ohřev plamenem	
8.	Umístění topného tělesa	Po obvodě	Nahoře a dole	nahoře	
9.	Drážka pro topný element	Eliptické	kruhové	čtvercové	
10	Měření teploty	Termočlánek	Pyrometr		
11	Tepelné odizolování	Pouze izolace	Izolace a vodní chlazení	Vodní chlazení	
12	Chladicí médium	Vzduch	Voda	Olej	
13	Otvírání komory	Na pantech	Na kolejkách		
14	Způsob otevírání při údržbě	Z jedné strany- u ohřívací komory	Z jedné strany- zadní strana	Z obou stran	Podél

6. Orgánová struktura

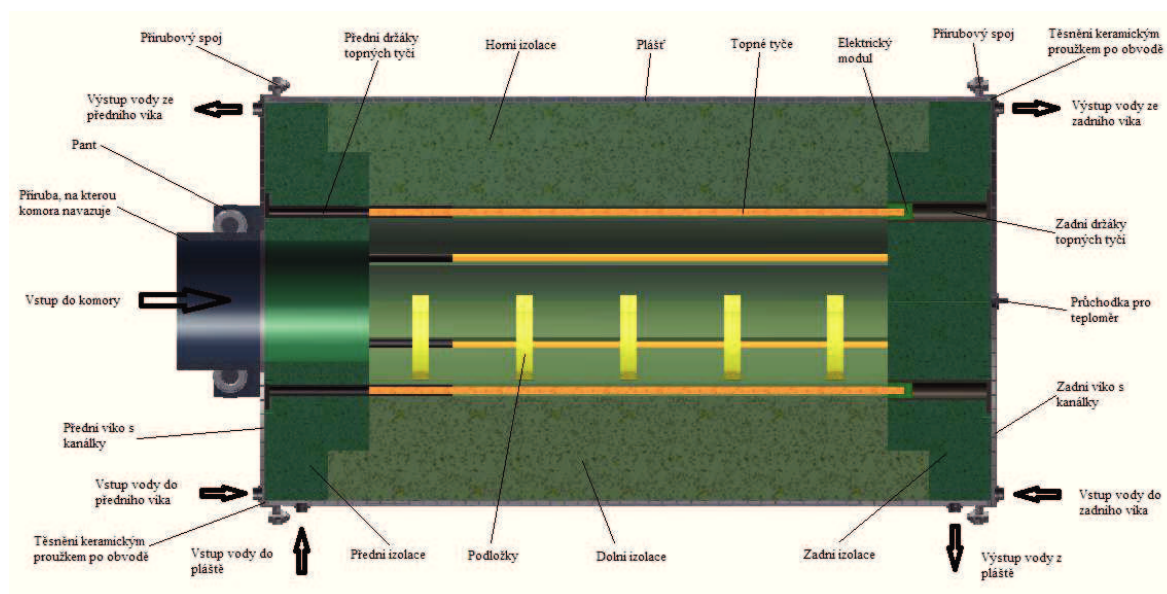
6.1. Porovnání variant

Tab. 2 Porovnání variant

Tepelné odizolování	Pouze izolace	Izolace a vodní chlazení
Tloušťka izolace	4	2
Náklady na provoz	1	5
Složitost konstrukce	2	5
Výrobní náklady	2	3
Celkem	9	15

Nejlepší varianta je jednoznačně bez chlazení, ale z důvodu místního prostupu tepla skrz prvky vstupující do komory, musí být boky komory chlazeny. Jelikož je nutnost použití chlazení, z toho důvodu bude chlazení použito i na obvodu pláště, čímž se zmenší tloušťka izolace.

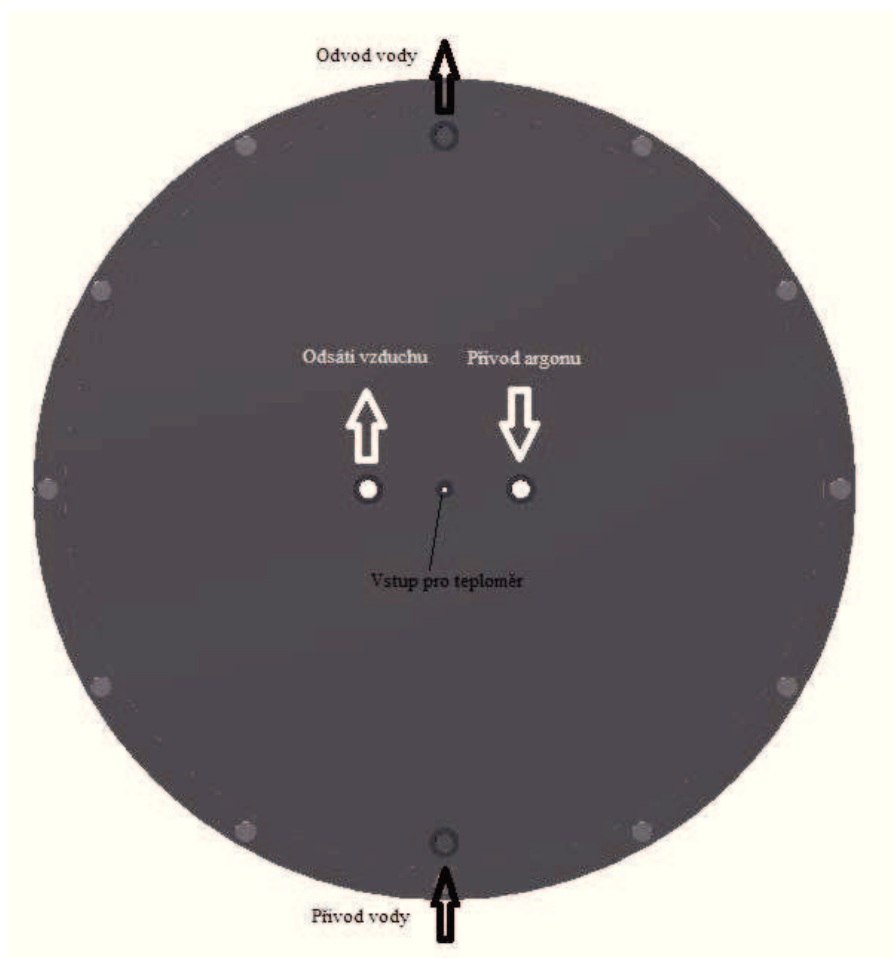
6.2. Orgánová struktura- Hlavní pohled



Obr. 2 Orgánová struktura- hlavní pohled

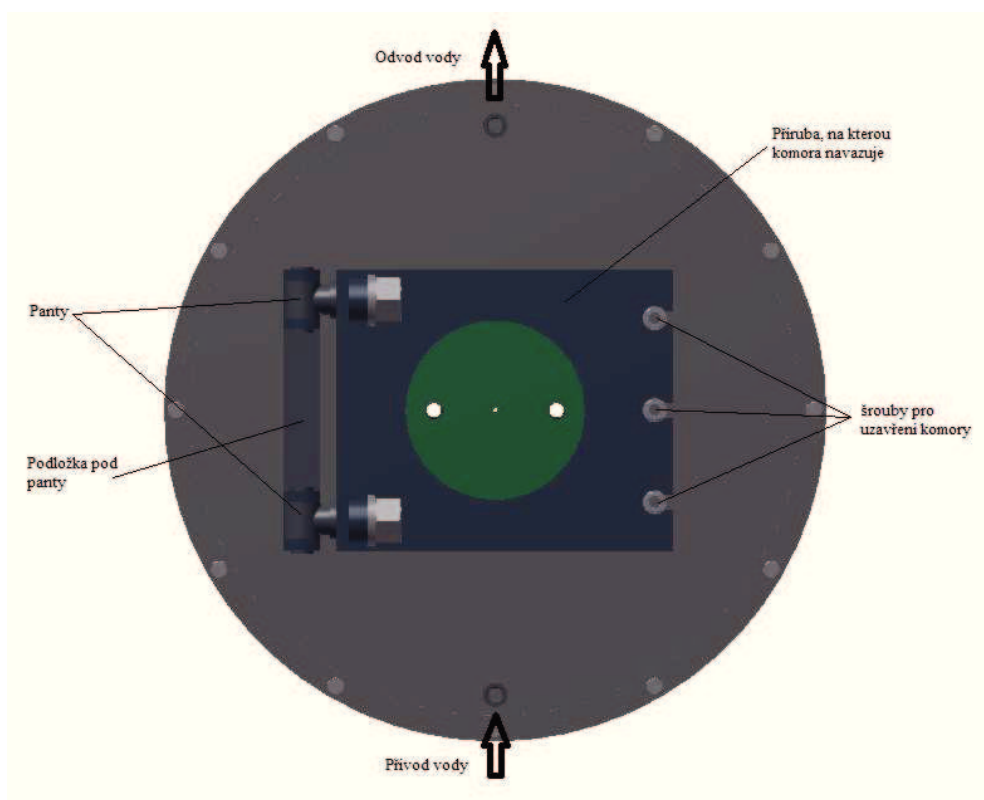
Na obr. 10 je znázorněna orgánová struktura, tedy jak bude celá ohřívací komora vypadat. Jednotlivé orgány jsou obstarány popisem a pro větší přehlednost jsou na obrázcích 11 a 12 znázorněny bokorysy.

6.3. Orgánová struktura - Levý bokorys



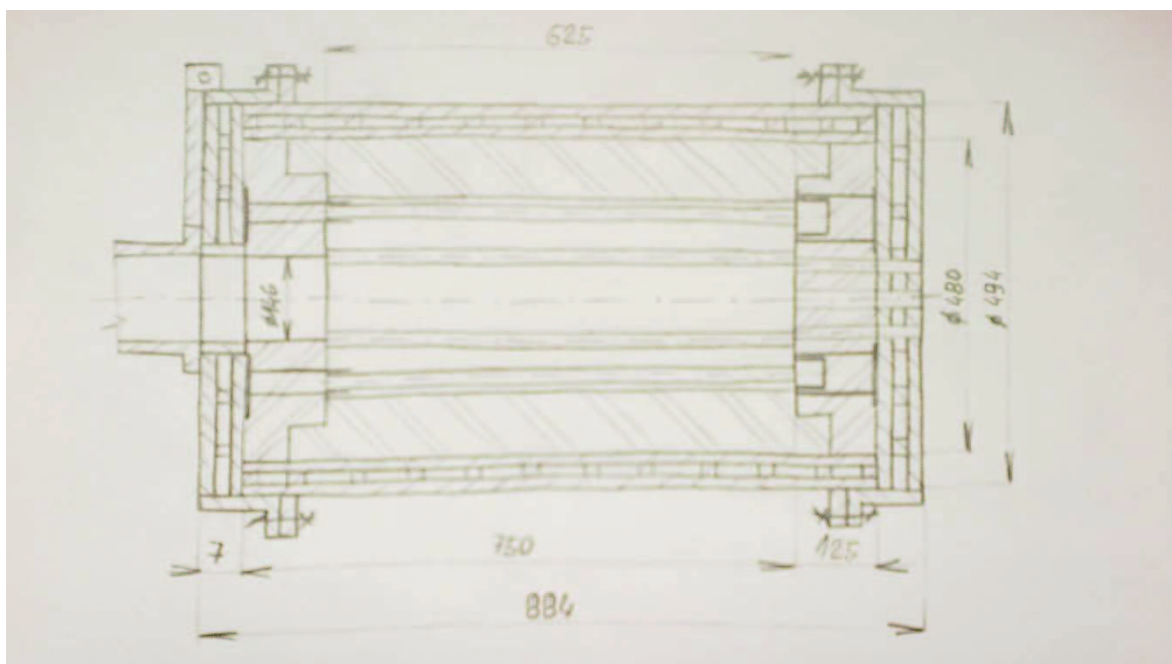
Obr. 3 Orgánová struktura - levý bokorys

6.4. Orgánová struktura - Pravý bokorys



Obr. 4 Orgánová struktura - pravý bokorys

7. Hrubá stavební struktura



Obr. 5 Hrubá stavební struktura

8. Výpočty

V následující tabulce jsou znázorněny hodnoty materiálů použitých při výpočtech chladicí komory.

Tab. 3 Použité hodnoty materiálů

	Hustota	Tepelná vodivost (střední hodnota)	Měrná tepelná kapacita	Teplota tání
Značka	ρ	λ	c_p	t_t
Jednotka	kg/m ³	W/m.K	J/kg.K	°C
Kanthal A1 [8]	7150	-	-	1500
Konstrukční uhlíková ocel [2]	7860	40,2	480	-
Nerezová ocel- chromová- martenzitická [2]	7670	23,6	470	-
Titan [5]	4506	15	535 [19]	1668
Rigiform1500 [18]	250	0,15	1070 [2]	1800
Oxid zirkoničitý [19]	6000	3	450	2550

Kanthal A1 – materiál používaný na topná tělesa-maximální teplota 1400°C, složení: 22%Cr, 5.8%Al, 72.2%Fe

Konstrukční uhlíková ocel- materiál používaný hlavně na vnější plášť komory, ale pro variantu bez vodního chlazení

Nerezová ocel- materiál používaný na vnější plášť komory a to ve variantě, kdy je použito vodní chlazení

Titan- materiál slitku

Rigiform LD- Keramické vlákno, firma Sibrál, materiál tepelné izolace

Oxid zirkoničitý- keramický materiál, který je použitý na držáky topných tyčí a podložky pod titanovým slitkem

8.1. Návrh izolace bez chlazení

Ve výpočtech je hledána optimální tloušťka izolace tak, aby teplota povrchu z bezpečnostních důvodů nepřekročila 70 °C. Teplota stabilizačního žhání, tedy hlavní operace, která se bude v komoře provádět, je 950 °C. Aby se dosáhlo této teploty slitku, musí být v komoře teplota vyšší. Volím proto teplotu vně pece 1100 °C.

Je počítáno pouze s tepelnou izolací bez vodního chlazení. Vzorce jsou pro stav, který nastane za nekonečně dlouhou dobu, takže vypočtené hodnoty budou o něco vyšší než skutečné hodnoty. Toto je první ze dvou porovnávaných variant. Podle získaných výsledků bude zvolena výhodnější varianta.

Hodnoty:

$\lambda_1 = 0,15 \text{ W/mK}$, zvolena střední hodnota tepelné vodivosti, protože se tato hodnota liší se snižující se teplotou [tab. 3]

$\lambda_2 = 40,2 \text{ W/mK}$, tepelná vodivost oceli [tab. 3]

$d_1 = 230 \text{ mm}$ (hodnota od drážky topných tyčí)

$d_2 = 600 \text{ mm}$

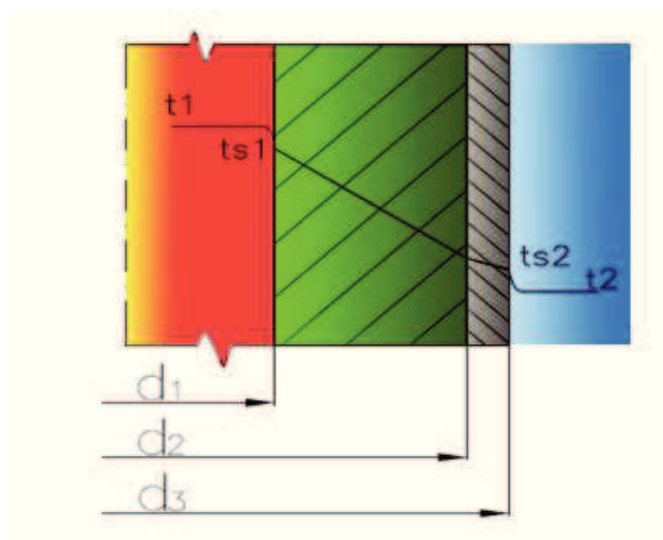
$d_3 = 604 \text{ mm}$

$t_1 = t_{s1} = 1100 \text{ °C}$

$t_2 = 20 \text{ °C}$

$t_{\max 1} = 70 \text{ °C}$ [10]

$D = 0,604 \text{ m}$



Obr. 6 Prostup tepla stěnou

Určení výpočtové teploty pro vzduch

Maximální dovolená teplota povrchu komory je 70 °C a teplota okolního vzduchu je 20 °C. Je zřejmé, že povrch komory se bude vlivem teploty okolního vzduchu ochlazovat a naopak okolní vzduch se bude zahřívat. Z toho důvodu je volena výpočtová teplota, podle které jsou voleny hodnoty veličin znázorněny v následující tabulce.

Výpočtová teplota:

$$t_{v1} = \frac{t_{max1} + t_2}{2} = \frac{70 + 20}{2} = 45 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C} \quad (1)$$

Volím toleranci $\pm 5 \text{ °C}$, jelikož tato hodnota nemusí být vždy uvedena v tabulkách.

Tab. 4 Hodnoty vzduchu pro výpočtovou teplotu

	značka	jednotka	Vzduch
Hustota	ρ	kg/m ³	1,1100 [13]
Tepelná vodivost	λ	W/m.K	0,0271 [15]
Měrná tepelná kapacita	c_p	J/kg.K	1006 [2]
Kinematická viskozita	ν	m ² /s	$1,79 \cdot 10^{-5}$ [13]

Prandltovo číslo:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{1,79 \cdot 10^{-5}}{2,43 \cdot 10^{-5}} = 0,737 \quad (2)$$

Tepelná vodivost:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} = \frac{0,0271}{1,11 \cdot 1006} = 2,43 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \quad (3)$$

Grashofovo číslo:

$$Gr = \frac{\beta \cdot \Delta T \cdot g \cdot D^3}{\nu^2} = \frac{0,0031 \cdot (343 - 293) \cdot 9,81 \cdot 0,604^3}{(1,79 \cdot 10^{-5})^2} = 1045696031 \quad (4)$$

Součinitel tepelné objemové roztažnosti:

$$\beta = \frac{1}{\frac{T_s + T_o}{2}} = \frac{1}{\frac{343 + 293}{2}} = 0,0031 \quad (5)$$

Teplota vnější stěny $T_s = 343 \text{ K}$ (70 °C)

Teplota okolí $T_o = 293 \text{ K}$ (20 °C)

Nusseltovo číslo:

$$Nu = 0,135 \cdot (Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} = 0,135 \cdot (1045696031 \cdot 0,737)^{\frac{1}{3}} = 123,77 \quad (6)$$

Výpočet součinitele přestupu tepla α :

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{D} = \frac{123,77 \cdot 0,0271}{0,604} = 5,6 \rightarrow \text{volím } \alpha = 10 \quad (7)$$

$\alpha = 10$ volím s ohledem na sdílení tepla radiací z povrchu tělesa do okolí [10].

Výpočet hustoty tepelného toku:

$$q_l = \frac{\pi(t_{s1} - t_2)}{\frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha \cdot d_3}} = \frac{\pi(1100 - 20)}{\frac{1}{2 \cdot 0,15} \cdot \ln \frac{600}{230} + \frac{1}{2 \cdot 40,2} \cdot \ln \frac{604}{600} + \frac{1}{10 \cdot 0,604}} \quad (8)$$

$$q_l = 1009 \text{ W/m}$$

Výpočet teploty vnější stěny:

$$q_l = \frac{\pi(t_{s1} - t_{s2})}{\frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}} \rightarrow$$

$$\rightarrow t_{s2} = t_{s1} - \frac{q_l \cdot (\frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2})}{\pi} = 1100 - \frac{1009 \cdot (\frac{1}{2 \cdot 0,15} \cdot \ln \frac{600}{230} + \frac{1}{2 \cdot 40,2} \cdot \ln \frac{604}{600})}{\pi} = \quad (9)$$

$$t_{s2} = 73,4 \text{ °C}$$

Teplota vnější stěny bude $73,4 \text{ °C}$, což o $3,4 \text{ °C}$ překračuje povolenou teplotu, ale výpočty jsou pro stav, který nastane za nekonečně dlouhou dobu, takže ve skutečnosti bude teplota o několik stupňů menší. Nevýhodou je předimenzovaná izolace.

8.2. Návrh izolace s vodním chlazením

Toto je druhá porovnávaná varianta. Ve výpočtech je snaha navrhnout optimální vodní chlazení tak, aby teplota chladicího média nepřekročila 40 °C [10].

Hodnoty:

$\lambda_1 = 0,15 \text{ W/mK}$ [tab. 3]

$\lambda_2 = 23,6 \text{ W/mK}$ [tab. 3]

průměr otvoru $d_0 = 146 \text{ mm}$

$d_1 = 230 \text{ mm}$ (hodnota od drážky topných tyčí)

$d_2 = 480 \text{ mm}$

$d_3 = 482 \text{ mm}$

$d_4 = 492 \text{ mm}$

$d_5 = 494 \text{ mm}$

$t_1 = t_{s1} = 1100 \text{ °C}$

$t_{s3} = 95 \text{ °C}$, teplota vnitřní stěny ve vodním chlazení nesmí přesáhnout 100 °C, aby voda nezačala vařit

Volím rychlost proudění vody $w = 0,5 \text{ m/s}$

Délka pláště $l_p = 0,875 \text{ m}$

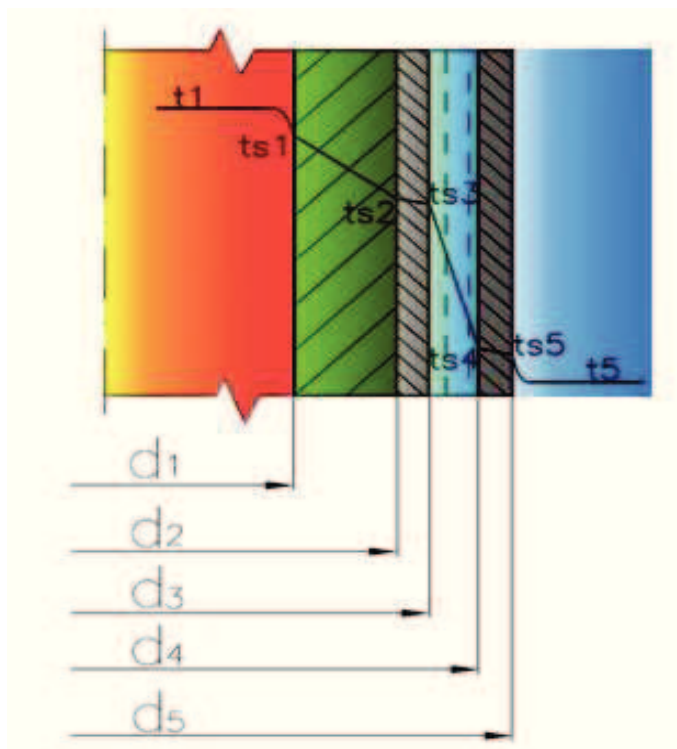
Délka vnitřního prostoru komory $l = 0,625 \text{ m}$

$t_{vst} = 20 \text{ °C}$

Výška a šířka chladicího potrubí $a = 5 \text{ mm}$, $b = 15 \text{ mm}$

Pro plyny a kapaliny je $\chi = 1$

$t_{max2} = 40 \text{ °C}$ [10]



Obr. 7 Prostup tepla chlazenou stěnou

Určení výpočtové teploty pro vodu

Vstupní teplota chladicí vody je 20 °C a maximální dovolená teplota vody je 40 °C. Teplota vody se tedy bude mezi těmito hodnotami pohybovat. Určím tedy výpočtovou teplotu pro vodu, podle které budu volit hodnoty k výpočtům.

Výpočtová teplota:

$$t_{v2} = \frac{t_{vst} + t_{max2}}{2} = \frac{20 + 40}{2} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10)$$

Tab. 5 Hodnoty vody pro střední teplotu

	značka	jednotka	Voda
Hustota	ρ_{H2O}	kg/m ³	995,651 [17]
Tepelná vodivost	λ_{H2O}	W/m.K	0,618 [12]
Měrná tepelná kapacita	C_{pH2O}	J/kg.K	4180 [16]
Kinematická viskozita	ν_{H2O}	m ² /s	8,01.10 ⁻⁵ [14]

Součinitel přestupu tepla α do vodního chlazení:

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_{H2O}} = \frac{0,5 \cdot 0,075}{0,801 \cdot 10^{-6}} = 4628 \quad (11)$$

Hydraulický průměr kanálu:

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{o} = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} = \frac{4 \cdot 0,005 \cdot 0,015}{2 \cdot (0,005 + 0,015)} = 0,0075 \text{ m} \quad (12)$$

Prandltovo číslo:

$$Pr = \frac{\nu_{H2O}}{a_{H2O}} = \frac{0,801 \cdot 10^{-6}}{0,148 \cdot 10^{-6}} = 5,4 \rightarrow \text{konstanta } C = 0,023 \quad (13)$$

Tepelná vodivost:

$$\alpha_{H_2O} = \frac{\lambda_{H_2O}}{\rho_{H_2O} \cdot c_{pH_2O}} = \frac{0,618}{995,651 \cdot 4180} = 0,148 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (14)$$

Vyjádření α pomocí dvou rovnic:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_h}{\lambda_{H_2O}}$$

$$Nu = C \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \chi \quad (15)$$

Vyjádření α :

$$\alpha = \frac{C \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \chi \cdot \lambda_{H_2O}}{d_h} = \frac{0,023 \cdot 4628^{0,8} \cdot 5,4^{0,4} \cdot 1,0 \cdot 0,618}{0,0075} = 3213 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Výpočet tepelných ztrát:

$$q_l = \frac{\pi(t_{s1} - t_{s3})}{\frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}} = \frac{\pi(1100 - 95)}{\frac{1}{2,015} \cdot \ln \frac{480}{230} + \frac{1}{2,23,6} \cdot \ln \frac{482}{480}} = 1287 \text{ W/m} \quad (16)$$

$$Q = q_l \cdot l = 1287 \cdot 0,625 = 804 \text{ W} \quad (17)$$

Povrch komory:

Povrch pláště:

$$o = \pi \cdot d_5 = \pi \cdot 0,494 = 1,552 \text{ m} \quad (18)$$

$$S_1 = o \cdot l_p = 1,552 \cdot 0,875 = 1,358 \text{ m}^2 \quad (19)$$

Povrch boční stěny:

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,494^2}{4} = 0,192 \text{ m}^2 \quad (20)$$

Povrch boční stěny s otvorem:

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,494^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,146^2}{4} = 0,175 \text{ m}^2 \quad (21)$$

Celkový povrch komory:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 1,358 + 0,192 + 0,175 = 1,725 \text{ m}^2 \quad (22)$$

Tepelné ztráty na 1 m² plochy:

$$Q_s = \frac{Q}{S} = \frac{804}{1,725} = 466 \text{ W/m}^2 \quad (23)$$

Tepelná bilance:

Hmotnost chladicí vody:

$$\dot{m} = w \cdot S_k \cdot \rho_{H_2O} = 0,5 \cdot 0,005 \cdot 0,005 \cdot 988,04 = 0,0124 \text{ kg/s} \quad (24)$$

Rozdíl teplot vody na vstupu a výstupu:

$$Q = \dot{m} \cdot c_{pH_2O} \cdot \Delta t$$
$$\Delta t = \frac{Q}{\dot{m} \cdot c_{pH_2O}} = \frac{804}{0,0124 \cdot 4180} = 15,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (25)$$

Výsledná teplota vody:

$$\Delta t = t_{vys} - t_{vst}$$
$$t_{vys} = \Delta t + t_{vst} = 15,5 + 20 = 35,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (26)$$

Voda se ohřeje o 15,5 °C a povrch komory bude mít maximálně 35,5 °C. To znamená, že je splněna podmínka, kdy plášť nesmí mít vyšší teplotu než 70 °C a zároveň se voda neohřeje nad 40 °C.

8.2.1. Výpočet chlazení víka

Na víko komory jsou napojeny držáky topných tyčí, které drží horké topné tyče. Prostup tepla v těchto místech bude mnohonásobně větší, takže v následujících výpočtech je provedena kontrola.

Hodnoty:

Tloušťka izolace $x_1 = 0,125$ m

Tloušťka plechu $x_2 = 0,001$ m

Délka držáku $x_3 = 0,125$

Počet držáků $n = 6$

Průměr držáku $d_D = 0,025$ m, dutinu v držáku zanedbávám a počítám ho jako plnou tyč

Výpočet tepelných ztrát izolací zadního víka:

$$q = \frac{t_{S1} - t_{S3}}{\frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2}} = \frac{1100 - 95}{\frac{0,125}{0,15} + \frac{0,001}{23,6}} = 1206 \text{ W/m}^2 \quad (27)$$

$$Q = q \cdot S_B = q \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = 1206 \cdot \frac{\pi \cdot 0,23^2}{4} = 50 \text{ W} \quad (28)$$

Výpočet tepelných ztrát keramickým držákem:

$$q_D = \frac{t_{S1} - t_{S3}}{\frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{x_2}{\lambda_2}} = \frac{1100 - 95}{\frac{0,125}{3} + \frac{0,001}{23,6}} = 24101 \text{ W/m}^2 \quad (29)$$

$$Q_D = q_D \cdot S_D \cdot n = q_D \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_D^2}{4} \right) \cdot 6 = 24101 \cdot \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} \cdot 6 = 71 \text{ W} \quad (30)$$

Celkové tepelné ztráty na zadním víku:

Přestup tepla vzduchu je zanedbán, protože neizolovaná místa jsou malá a výsledek se o moc nezmění.

$$Q_c = Q + Q_D = 50 + 71 = 121 \text{ W} \quad (31)$$

Tepelná bilance:

Z důvodu malého přestupu tepla je volena menší rychlost proudění chladicí vody.

Volím $w = 0,1$ m/s

Hmotnost chladicí vody:

$$\dot{m} = w \cdot S_k \cdot \rho_{H_2O} = 0,1 \cdot 0,005 \cdot 0,005 \cdot 988,04 = 0,0025 \text{ kg/s} \quad (32)$$

Rozdíl teplot vody na vstupu a výstupu:

$$\Delta t = \frac{Q_c}{\dot{m} \cdot c_{pH_2O}} = \frac{121}{0,0025 \cdot 4180} = 11,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (33)$$

Voda se při menším průtoku vody ohřeje o 11,6 °C, tedy méně, než plášť komory (25). Hodnoty vypočtené na zadním víku budou podobné jako na předním víku. Je tedy volen stejný průtok na obou víkách.

8.3. Výpočet hmotnosti komory

Zjištění hmotnosti komory je důležité pro zvolení pantů. Do celkové hmotnosti komory je zahrnuta také hmotnost slitku a chladicí vody.

Hmotnost slitku je určena pomocí modelu v programu Inventor:

$$m_s = 0,5 \text{ kg}$$

Hmotnost komory je určena pomocí modelu v programu Inventor a výsledek je zaokrouhlen nahoru se zřetelem na hmotnost svarů, fitinků a hadic:

$$m_k = 85 \text{ kg}$$

Hmotnost vody je určena výpočtem:

Přítomnost kanálků je v těchto výpočtech zanedbána, takže je počítáno s celým vnitřním prostorem.

Objem vody v plášti:

$$V_p = \left(\frac{\pi \cdot d_4^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \right) \cdot l_p = \left(\frac{\pi \cdot 0,492^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,482^2}{4} \right) \cdot 0,875 = 0,007 \text{ m}^3 \quad (34)$$

Objem vody ve víku:

V následujících výpočtech je zanedbána díra jednoho víka a je počítáno, jako by obě víka byla stejná bez děr.

$$V_v = \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} \cdot a = \frac{\pi \cdot 0,494^2}{4} \cdot 0,005 = 0,002 \text{ m}^3 \quad (35)$$

Celkový objem vody:

$$V_{celk} = V_p + 2 \cdot V_v = 0,007 + 2 \cdot 0,002 = 0,011 \text{ m}^3 \quad (36)$$

Hmotnost vody:

$$m_v = V_{celk} \cdot \rho_{H_2O} = 0,011.995,651 = 11 \text{ kg} \quad (37)$$

Celková hmotnost komory:

$$m_c = m_s + m_k + m_v = 0,5 + 85 + 11 = 96,5 \text{ kg} \quad (38)$$

Hmotnost komory bude asi 96,5 kg. Z bezpečnostních důvodů jsou voleny IBFM PANT 425-24 výrobce DS TECHNIK, který má nosnost 150 kg.

9. Výrobci

Sibral [18]

Tvarovky z keramických vláken- Fiberfrax Riform

Keramické tvarovky jsou vyráběny ze žáruvzdorných hlinitokřemičitých vláken Fiberfrax, které je vyráběno tavením čistých surovin a poté rozvlákněním taveniny rotačním způsobem. Po smísení těchto vláken s organickými a neorganickými pojivy jsou vakuovou technologií vyráběny tvarovky. Způsob této výroby umožňuje vyrábět různé tvary, tloušťky a objemové hmotnosti finálních výrobků.

Keramická samolepící páska

Maximální dlouhodobé zatížení je 1100 °C. Páska má tloušťku 2 mm a šířku 10 mm. Má samolepící vrstvu a je vyztužená drátkem o průměru 0,1 mm.

Kanthal- Elementy Globar® SD [8]

Topné elementy KANTHAL Globar® se používají v aplikacích o teplotním rozpětí od 600°C do 1600°C, na vzduchu i v řízených atmosférách. Mohou být upevněny buď vertikálně, nebo horizontálně a vzhledem k tomu, že materiál i při vysokých pracovních teplotách zůstává neohebný, nevyžadují speciální upevnění nebo podporu.



Obr. 8 Topný element Globar SD

Meratex- Indikátor teploty – N1500 [9]

Indikátor - zobrazovač teploty LIMATHERM SENSOR N1500 s alarmem, zabudovatelný do panelu.

Vstupy: termočlánky J, K, T, E, R, S, N; RTD Pt100; proud $4 \div 20$ mA; napětí $0 \div 50$ mV, $0 \div 10$ V.



Obr. 9 Indikátor teploty – N1500

OMEGA- Omegaclad XL miniaturní sonda s přechodkou [11]

KMTXL- 125U-6 – Měřicí sonda K termočlánku, průměr 3,2 mm, délka 150 mm. Použitelné do 1335 °C krátkodobá použitelnost. Při teplotě 1150 °C nepřetržitý provoz. Životnost 4500 hodin. Sonda obsahuje 36 palců vodičího drátu.



Obr. 10 Omegaclad XL

DS technik - Regulovatelný pant šroubový velký IBFM PANT 425 - 24 [20]

Pant vhodný pro navaření. Nosnost dvou pantů je 150 kg.



Obr. 11 Pant

FD Tools [21]

Vsuvka - přímá, hadicové zakončení, série 710, 3/8", 14 710 0606



Obr. 12 Vsuvka rychlospojky

Zásuvka - série 831, 3/8", 14 831 0612

Zakončení M12 x 1,5.



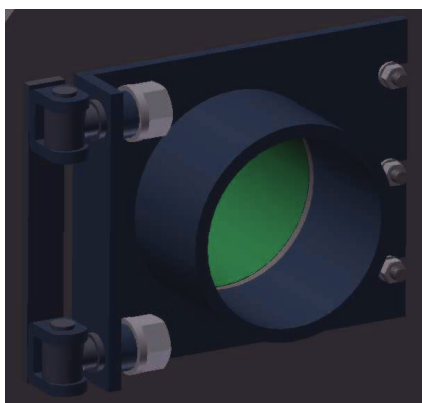
Obr. 13 Zásuvka rychlospojky

10. Technický popis zařízení

K technickému popisu jsou pro lepší přehlednost přidány obrázky 3D modelu. Výkresová dokumentace těchto obrázků a celého zařízení je v příloze.

Ohřívací komora je určena pro napojení na laboratorní pec. Hlavním úkolem komory je stabilizační žíhání titanových slitků, vytavených právě v laboratorní plazmové peci. Maximální teplota stabilizačního žíhání titanu je kolem 950 °C. Aby se této teploty u titanových slitků dosáhlo, je zapotřebí vyšší teploty. Topné prvky tedy mohou mít maximální teplotu 1100 °C. Žíhací proces probíhá vně komory obklopen žáruvzdornou izolací. Izolace je vsunuta do ocelového pláště, který je z nerezové oceli a vodou chlazený. Při maximální teplotě topných elementů se vodní chlazení ohřeje z 20 °C na 35 °C, tedy povrch komory bude na dotek bezpečný.

Komora je napojena na pec speciálně upravenou přírubou, jak je vidět na obr. 14. Ta má tvar obdélníku, napojeného na panty pomocí šroubů. Šrouby jsou opatřeny osazením, aby se příruba nemohla pohnout. Panty jsou od výrobce DS Technik, který udává nosnost až 150 kg. Hmotnost komory je včetně chladicí vody asi 96,5 kg, takže panty unesou i nečekané zatížení navíc. Aby osa šroubů byla v ose děr, jsou panty navařeny na podložku, která je rovněž přivařena k víku komory. Uzavření komory je vyřešeno pomocí tří šroubů navařených na víku komory, které zapadají do drážek v přírubě. Následné utažení je zajištěno šrouby a pružnými podložkami. Nepředpokládá se, že by se komora otvírala často, protože celý proces trvá dlouho, takže se komora otevře maximálně dvakrát denně. Mezi přírubou a víkem komory bude keramická těsnící páska firmy InHeat. Páska odolává vysokým teplotám a je opatřena samolepicí vrstvou, takže při otevírání zůstane přilepená na svém místě.

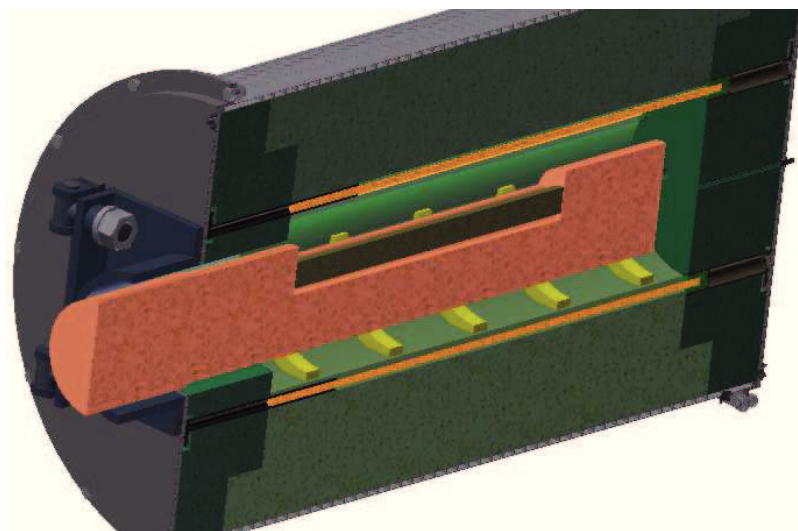


Obr. 14 Navazující příruba

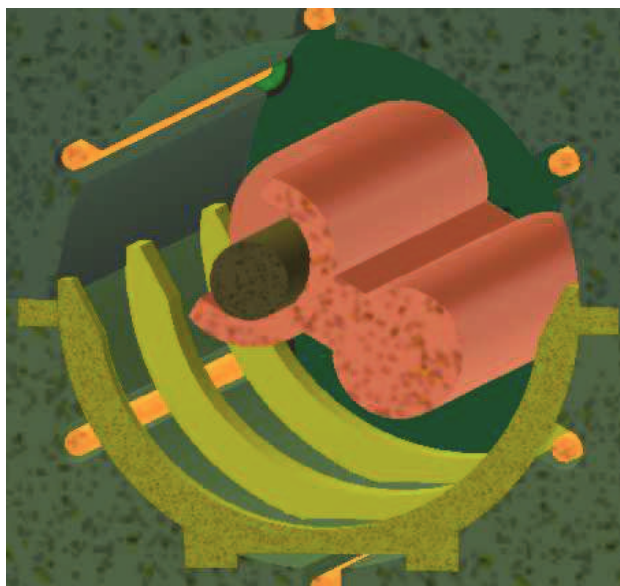
Komora pracuje tím způsobem, že ze všeho nejdříve musí být správně uzavřena a utěsněna (všechny šrouby utažené). Dalším krokem je odsátí vzduchu z prostoru komory. To je zajištěno vývěvou, která je napojena na komoru hadicí. Hadice je pomocí rychlospojky napojena na zadní víko přivařenou průchodkou. Průchodky jsou vidět na obr. 3. Odsátí vzduchu se provádí proto, aby vzduch při vysokých teplotách nevzplanul. Jelikož je ohřívací komora napojena na plazmovou pec a průchod mezi nimi není nijak utěsněn, odsaje se vzduch i z oblasti plazmové pece, což je zapotřebí pro tavení.

Po odsátí vzduchu je přiveden do komory netečný plyn argon, který se dostane zase až do plazmové pece a vytvoří ochrannou atmosféru. Argon je přiveden přes průchodku, na kterou je napojena rychlospojka s hadicí. Argon je dodáván z plynové lahve. Může následovat vlastní tavba titanu.

Po vytavení se krystalizátor, v němž tavba probíhala, vsune do ohřívací komory (obr. 15), kde se natočí kolem své osy tak, že titanový slitek z něj vypadne (obr. 16). Slitek padá na keramické podložky, které jsou zasunuty do izolace (obr. 17). Podložky mají zajistit, aby slitek nedopadl na topné tyče a aby byl umístěn pokud možno uprostřed komory.



Obr. 15 Zasetí krystalizátoru do komory

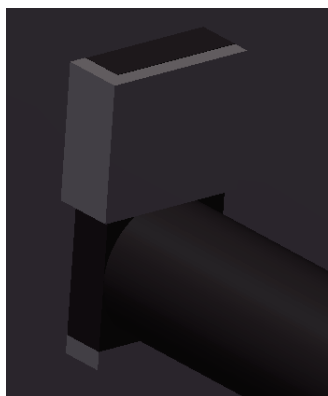


Obr. 16 Natočení krystalizátoru



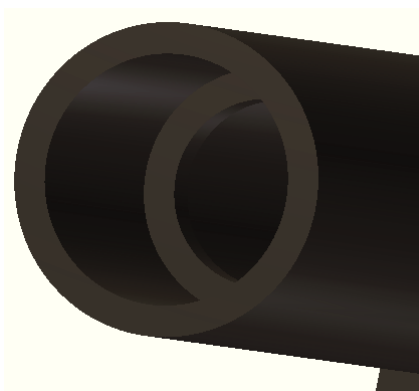
Obr. 17 Vypadnutí slitku na podložky

Po vyklopení slitku, zajede krystalizátor zpátky do pece a může začít proces žíhání. Ohřev je zajištěn pomocí šesti topných tyčí firmy Kanthal, které jsou vsunuty do drážek v izolaci. To je patrné z obr. 2. Topné tyče tak přímo nevstupují do vnitřního prostoru komory. Jejich poloha je zajištěna keramickými držáky, v kterých jsou tyče zasunuty a to z obou stran. To je opět patrné z obr. 2. Držáky jsou pak upevněny na vnitřních stranách ocelových vík a to tím způsobem, že zadní část držáku je zasunuta do L- profilu. Aby horní tyče nevypadly, je držák ještě podepřen ze spodní strany. Upevnění držáků je znázorněno na obr. 18.

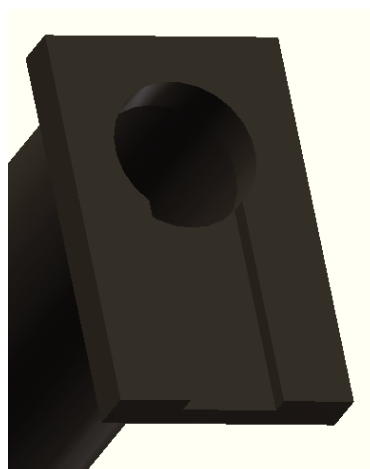


Obr. 18 Detail uchycení držáku

Do topných tyčí je přiveden elektrický proud skrz elektrický modul znázorněný zeleně na obr. 2. Ten je zasunutý do držáků, které jsou uvnitř osazené, aby modul nezajížděl hlouběji do držáku viz. obr. 19. Na konci držáku je otvor a drážka pro vývod drátů. To je znázorněno na obr. 20.



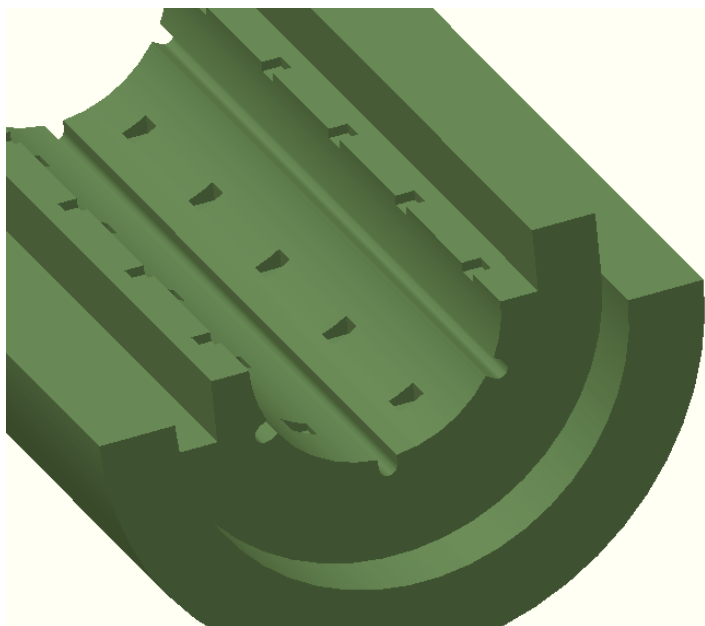
Obr. 19 Osazení držáku



Obr. 20 Vývod drátů

Teplotu uvnitř komory během žhání je možné sledovat na indikátoru teploty – N1500 firmy Meratex. Ten přijímá data od teplotní sondy Omegaclad XL. Sonda je zasunuta do průchodky na zadní straně komory viz. obr. 3. Po dokončení žhání se komora otevře a slitek se může vyjmout.

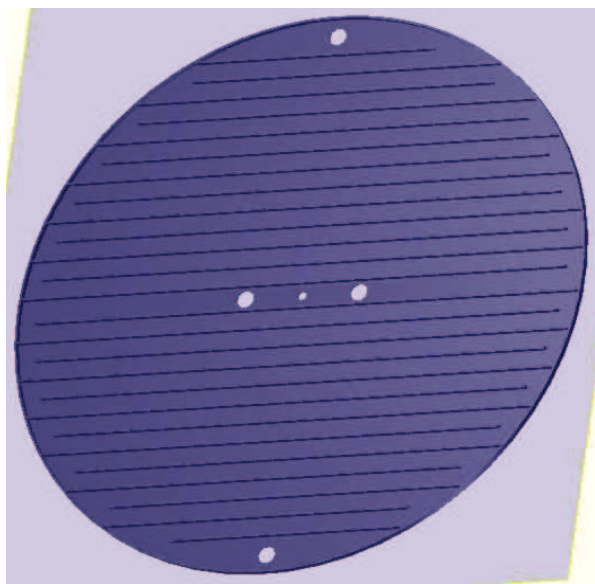
Tepelné zaizolování vnitřního prostoru komory je zajištěno žáruvzdornou izolací Rigidur 1500. Ta má tloušťku 125 mm. Izolace se skládá ze čtyř částí: z přední, zadní, horní a dolní části. Všechny čtyři části izolace jdou vidět v řezu na obr. 2. Přední díl izolace má velký otvor, který tvoří vstup do komory a šest malých děr, kterými prochází držáky topných elementů. Zadní izolace má také šest děr pro držáky a tři díry uprostřed. Z toho dvě jsou pro přívod a odvod ochranné atmosféry a třetí je pro tepelnou sondu. Horní a dolní izolace vypadají podobně, jen s tím rozdílem, že spodní izolace má na svém dně drážky pro lepší stabilitu keramických podložek, a také v místě dotyku horní a dolní izolace. Na obr. 21 je právě spodní izolace, kde jsou vidět drážky pro keramické podložky a také zámky, které zabráňují úniku tepla v místě spoje izolací. Dále jdou vidět drážky pro topné tyče, jak už bylo zmíněno.



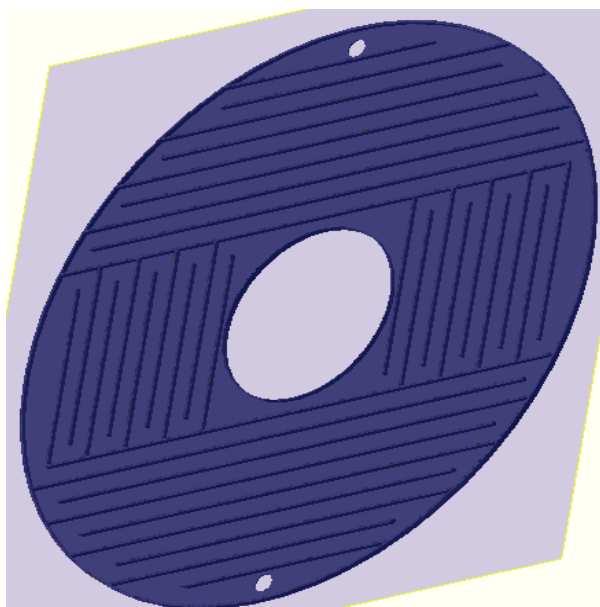
Obr. 21 Spodní izolace

Plášť komory je z nerezové oceli, protože v něm proudí voda a zajišťuje tak chlazení. K oběma jeho koncům jsou připojena víka, rovněž z nerezové oceli a s vodním chlazením. Každý z nich má samostatný chladicí okruh, tedy dvě průchodky a soustavu kanálků. Průchodky jsou opatřeny vnitřním závitem, takže se na ně dá jednoduše našroubovat rychlospojka s hadicí. Voda je přiváděna spodní průchodkou, v opačném

případě by mohla voda samovolně vytékat. Kanálky jsou tvořeny navařeným drátem tak, aby výška kanálku byla 5 mm a šířka 15 mm. V plášti jsou kanálky tvořeny šroubovicí. Kanálky ve víkách jsou znázorněny na obr. 22 a 23. Víka jsou připojena k plášti přírubou pomocí šroubů. V zadním víku je ještě průchodka pro tepelnou sondu, která se do průchodky jednoduše zasune. Tepelná sonda se v místě průchodky musí omotat keramickou páskou, aby teplo neutíkalo ven. Keramická páska bude nalepena také v místě spojů pláště s víky viz. obr. 2.

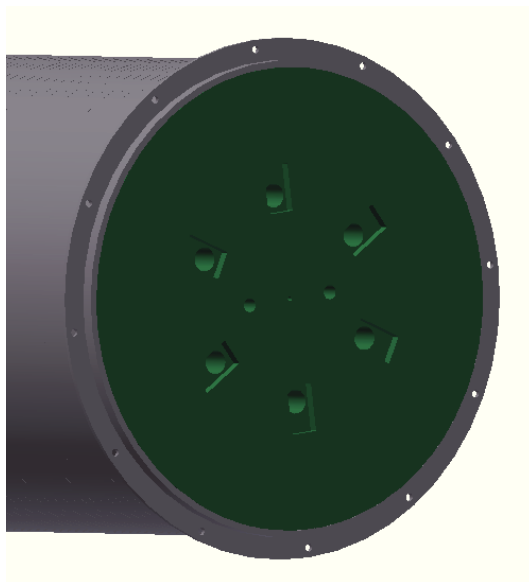


Obr. 22 Kanálky zadního víka



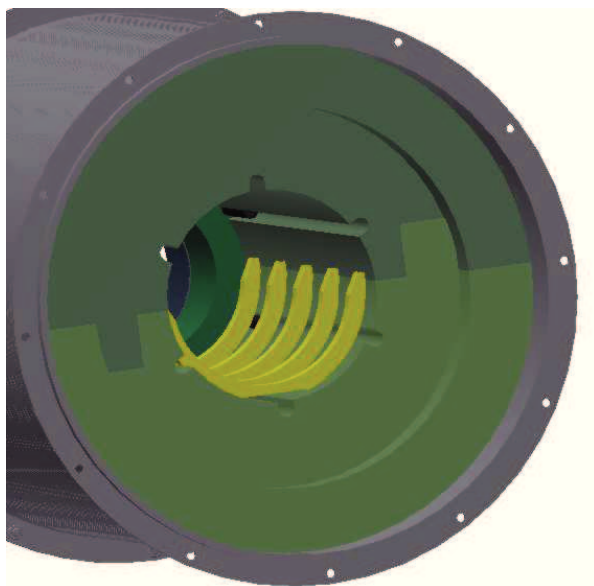
Obr. 23 Kanálky předního víka

Demontáž komory se nejlépe provádí odšroubováním zadního víka. Obě víka jsou osazená, takže při vyjmutí šroubů stále drží na místě. Zadní víko se tedy potom vyjme společně s držáky topných tyčí, jak je vidět na obr. 24. Topné tyče zůstanou na svém místě, protože jsou uchyceny v držácích na předním víku viz. obr. 2.



Obr. 24 Sejmutí zadního víka

Dále se může jednoduše vyjmout zadní izolace a následně topné tyče viz. obr. 25.



Obr. 25 Vyjmutí zadní izolace a topných tyčí

Po vyjmutí horní izolace se jednoduše vytáhne spodní izolace včetně keramických podložek. Poté se už dá vyjmout přední izolace a držáky topných elementů.

11. Závěr

Tato práce se zabývala hlavně návrhem tloušťky izolace. Při jejím navrhování jsem se rozhodoval mezi variantou bez chlazení a variantou s vodním chlazením. Ve výsledku byla použita varianta s vodním chlazením, a to z důvodu zmenšení tloušťky izolace a vychlazení tepelných mostů vzniklých na vících komory. Při navrhování tloušťky izolace jsem postupoval pomocí iterační metody, tedy postupným přibližováním výsledku k optimální hodnotě.

Dále se práce zabývala napojením ohřívací komory na plazmovou pec. Podle mého návrhu se příruba pece musí upravit tak, aby se na ní daly připevnit panty. Ohřívací komora se tak dá otevírat do boku a panty nesou její váhu.

Problémem bylo upevnění topných elementů a to z toho důvodu, že vnitřní prostor komory je tvořen izolací, která topné elementy neunes. Bylo zvoleno uložení do objímek přichycených skrz izolaci na bočních stěnách komory. Objímky jsou z keramického materiálu, což má za následek velký tepelný prostup do pláště komory. To je vyřešeno chlazením pláště.

Při návrhu ohřívací komory bylo vycházeno z požadavků, kladených na toto zařízení a bylo navazováno na rozměry plazmové pece a jejího krystalizátoru.

12. Literatura

1. KADLEC, Z.: Termomechanika, návody do cvičení. 1.vyd.Ostrava:VŠB-TU,2002. 97 s.
2. KADLEC, Z.: Termomechanika, návody do cvičení. 2.vyd.Ostrava:VŠB-TU,2008. 100 s. ISBN 978-80-248-1736-1
3. Titan %28prvek%29. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : WikipediaFoundation, 17.1.2005, last modified on 23.10.2011 [cit. 2011-10-23].
Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Titan_%28prvek%29>.
4. KOLÍNSKÁ, Irena. *Acron : outdoorequipment* [online]. c2006 [cit. 2011-11-06]. Titan - kov kosmického věku. Dostupné z WWW: <http://www.acron.cz/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=284&Itemid=38>.
5. ŠATRA, Petr. *Titan a jeho slitiny se zaměřením na letecký průmysl* [online]. 2008/2009. 15 s. Seminární práce. ČVUT FD. Dostupné z WWW: <vwings.net/dnl_fucida/titan_letectvi.doc>.
6. KRAUS, V. *Tepelné zpracování a slinování : Přednášky*. 226 s.
7. Argon. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : WikipediaFoundation, 30.7.2004, last modified on 9.10.2011 [cit. 2011-11-12]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Argon>>.
8. *KNTL* [online]. c2006, Aktualizováno 10/2006 [cit. 2011-10-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.kntl.cz/>>.
9. *Meratex : Meracia technika* [online]. 2011 [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.meratex.sk/>>.
10. Ústní sdělení vyučujícího.
11. *Omegaeng* [online]. 1995 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/>
12. Voda. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : WikipediaFoundation, 9.11.2004, last modified on 17.12.2011 [cit. 2011-12-22]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Voda>>.
13. Vzduch. *Converter*. [cit. 2011-12-22]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm>
14. Viskozita vody. *Converter*. [cit. 2011-12-22]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm>
15. The Engineering ToolBox: Air Properties. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html

16. M%C4%9Brn%C3%A1 tepeln%C3%A1 kapacita. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : WikipediaFoundation, 7.4.2003, last modified on 21.12.2011 [cit. 2011-12-22]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Brn%C3%A1_tepeln%C3%A1_kapacita>.
17. ČMELÍK, MACHONSKÝ a ŠÍMA. Hustota destilované vody. [online]. © 2002 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/hustota-vody.htm>
18. RiberfraxRigiform. *Inheat* [online]. [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: <http://www.inheat.cz/doc/td/cz/77/fiberfrax-rigiform-shapes-en.pdf>
19. *Matnet* [online]. 2006 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=9>
20. MARTEN & LOUIS. *DS technik* [online]. 2004 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.dstechnik.cz/kovani/panty/>
21. *FD Tools* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.fdtools.cz/index.php?ssid=2215a0e12873b4a1d796bfc65902f5a1>
22. LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Druhé doplňkové vydání. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
23. HUBKA, Vladimír. *Konstrukční nauka: Obecný model postupu při konstruování*. Stanislav Hosnedl. Zurich: HEURISTA, 1995, 118 s. ISBN 80-90 1135-0-8.

13. Seznam výkresové dokumentace

Číslo výkresu: LUZ0003-01, OHŘÍVACÍ KOMORA, A0